第34卷 第17期 计 算 机 工 程 2008年9月
Vol.34 No.17 Computer Engineering September 2008
·网络与通信· 文章编号：1000—3428(2008)17—0111—03 文献标识码：A 中图分类号：TP393

计算机网络E1链路接口自愈保护解决方案

宋经平，朱志良，王蓓蕾
(东北大学软件学院，沈阳 110004)

摘 要：根据商用等专用网络存在的问题，提出一种智能网络自愈解决方案，在不改变现有网络结构的情况下，通过在内外网之间加入自行研发的智能网络自愈装置实现网络故障的自愈。该方案设计并实现了对E1链路进行1+1热备份的系统，使E1接入端具备故障的监测、定位和自动处理等功能，系统可在30 s内自动完成自愈处理操作。

关键词：网络自愈；故障；E1链路

E1 Link Interface Self-healing Protection Solution of Computer Network

SONG Jing-ping, ZHU Zhi-liang, WANG Bei-lei
(School of Software, Northeastern University, Shenyang 110004)

【Abstract】 This paper puts forward intelligent network self-healing solution, which is based on the problems of commercial dedicated network. It does not change the network structure, but adds an intelligent network self-healing device between inside network and outside network. The device developed and produced by the authers can complete healing when the malfunction appears. The scheme designs and implements the system which adds a redundant hot-backup link of E1 link, so that E1 interface has the functions of auto-detecting, orienting and healing network malfunction. The system can complete self-healing operation by itself in 30 s.

【Key words】 network self-healing; malfunction; E1 link

1 概述

随着人类向信息社会的迈进，计算机网络已得到深入的普及。在计算机网络上传递大量数据、多媒体业务的同时，对网络的带宽、可靠性、可用性等方面也提出了更高的要求。过去大部分的网络故障由人工处理，花费的时间过长，而导致的经济损失有时是不可估量的。对于一些对网络的实时性、可靠性、可用性要求较高的商用网，网络是否具有自愈功能显得更加重要。网络自愈属网络生存性研究范畴，是指在网络出现故障时，能自动快速地从故障中恢复，而不影响网络的正常运行。近年来，通信网络的生存性成为至关重要的问题，也是市场开发环境网络运营者和业务提供者关注的焦点。因此一旦网络出现故障，带来的损失将是十分巨大的[1]。

网络生存性的定义是：网络在遭受各种故障(如人为的网络攻击、通信人为故障以及客观因素导致的通信事故)后，仍能维持可接受的业务质量的能力。网络生存性研究具有如下深远的意义：(1)生存性网络可以为国家和个人挽回巨大的经济损失，避免社会经济的动荡不安。(2)随着中国加入世贸组织后国内电信市场的逐渐开放，通信业的竞争越来越激烈，因此，具有生存性的网络对网络运营商来说极其重要。网络运营商能否提供可靠的通信，已经与其商业信誉、综合竞争力等密切相关。(3)随着生活水平的提高，社会经济生活及个人的日常生活越来越依赖于通信网络，只有会自动恢复的智能信息网才能满足人们高质量的生活需求[2]。

2 网络现存问题及解决方案

网络自愈概念强调的是恢复业务，而不是修复或更换失效元件。具备自愈能力的网络也可以说是具备了一定的网络生存性。网络生存性研究包括很多方面，主要分成3类：预防，网络设计，业务管理和恢复。预防技术主要是指提高系统和设备的可靠性，如硬件系统的容错设计、电源备份、软件系统的过载测试以及其他一些灾难防范措施。网络设计则利用路由的分散和资源的冗余来缓解失效的影响。业务管理和恢复技术通过业务均衡或业务恢复来减小失效的影响[3]。本文侧重于业务恢复的研究，具体内容包括故障实时监测、自动保护切换、故障定位与恢复。

2.1 网络生存性分析

网络生存性是指在给定网络故障或随机网络故障的条件下，所关心的网络某项业务指标的留存性。业务指标可以是吞吐量、保持连接的电路数或通道数、与中心节点保持连接的节点数等。给定一个失效事件，可以求出给定指标的留存值，失效事件不同，该值也不同，所以，它是失效空间上的一个函数，如果给出各失效事件的发生概率，就可以得到各种统计值(如概率均值、最坏值)[4]，如果考虑自愈机制和设备修复过程，则可以表示为一个时间函数，如图1所示[5]。其中，t_0是失效发生时刻，在此之前，归一化的业务指标为1，失效发生后，业务指标急剧下降了S_u，即降至S_a，这时恢复机制开始启动，业务指标开始上升，经过时间t_r(即t_1时刻)，指标值回升S_r，即达到S_a+S_r，这时由于空闲资源的缺乏或恢复机制本身的限制，指标值不能继续回升，必须通过设备修复程序或其他更有效的恢复机制才能恢复指标。假定到达t_2

作者简介：宋经平(1981－)，男，助教、硕士，主研方向：网络自愈，信息安全；朱志良，教授、博士、博士生导师；王蓓蕾，助教
收稿日期：2007-10-10 **E-mail：**sjpneu@163.com

时刻，设备修复好或通过其他更有效的恢复机制，业务指标回复到失效之前的水平 l，恢复过程结束。从失效开始到完全恢复的时间为 t_R。这些值表明了网络生存性各个方面的特性。

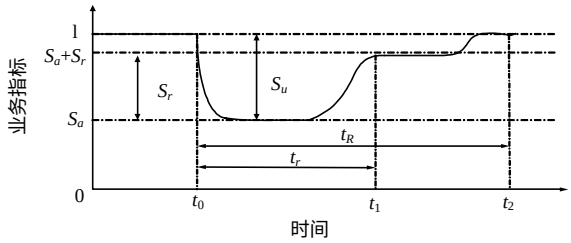


图 1　生存性时间特性曲线

2.2　网络现存的问题及解决方案

目前的专用计算机局域网是通过 E1 专线和远程网络互通的，本地接入端设备包括本地 E1 线路、本地调制解调器、本地路由器及其之间相应的线缆。

网络拓扑结构如图 2 所示。专用局域网接入端存在的主要问题有：(1)本地接入端 E1 接口线缆容易脱落、本地路由器端口模块承载的业务量过大。(2)故障告警不及时。(3)手工故障处理时间过长。

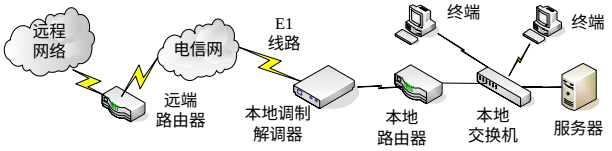


图 2　现行网络拓扑结构

根据实际网络的拓扑结构、网络存在的问题及系统的设计目标，本文的系统解决方案是对本地接入端链路进行 1+1 的热备份，使本地接入端具有冗余度为 1 的热备份链路，当工作的链路出现故障时，迅速切换到备份的链路上，不影响终端用户业务的正常运行。

要完成本地接入端设备和链路故障的自动监测、自动定位、自动处理，自愈系统的物理硬件为智能自愈装置，它由链路切换装置和监控硬件装置组成，逻辑上由位于链路切换装置上的控制软件和位于监控硬件上的软件组成，两者相互配合实现接入端故障的自愈功能。它的网络拓扑结构如图 3 所示，其中包括了自愈系统。

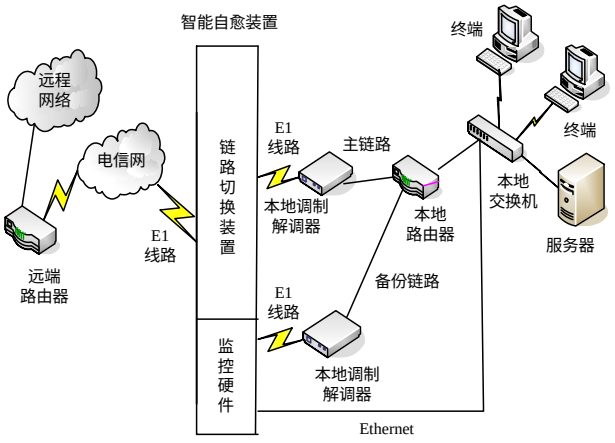


图 3　本方案的网络拓扑结构

2.3　系统工作过程

系统工作过程如图 4 所示。

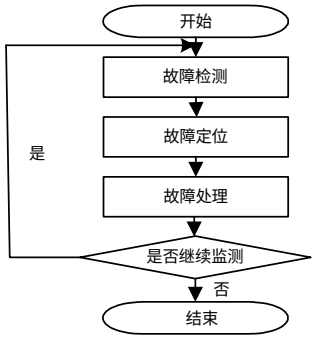


图 4　系统工作过程

图 4 只描述了本系统的中心功能，即故障监测、定位和自动处理。其他功能(如日志功能)由于都属于辅助性功能，因此在系统的总体工作过程中被省略了。

整个系统的工作过程是以故障监测、故障定位和故障处理为核心的。在系统的初始状态下，系统的 2 个物理部件链路切换装置和监控硬件及其上驻留的软件相互配合进行链路状态监测，如果没有问题，系统将持续处于这种状态，如果有问题，说明整条链路中的某个环节出现故障，但还不能断定是通信链路中的哪个环节出现故障，所以，会启动一个故障定位过程，由此定位出发生故障的具体环节。故障环节被定位出后将启动一个故障处理过程，每一种故障都有不同的处理方案。故障被处理完毕后，系统将会重新处于链路状态监测状态，因此，整个系统在总体上讲就是一个往复不断的监测、定位、处理过程。

2.4　系统监控方案

系统监控方案主要包括故障监测、故障定位和故障自动处理 3 部分。

2.4.1　故障监测

考虑到目前的局域网是通过 E1 专线与远程网络相连的，故障的监测分为 E1 发送链路故障监测和 E1 接收链路故障监测。前者是由链路切换装置上的 E1 线路数据脉冲探测模块实现的，通过探测 E1 输出线路上有无数据脉冲来判定当前链路的工作状态。后者是由软件上的外网数据包探测模块实现的，通过探测有无外网数据包来判定当前链路的工作状态及其网络层协议是否正常工作。同时辅以骨干网路由器端口是否可达来判定是否为网络空闲造成的疑似故障。

2.4.2　故障定位

因为在故障监测阶段可以判定网络发生了故障，所以在故障定位阶段须确定故障点的范围。故障点范围由近到远依次为本地局域网、本地接入端、外网。

故障定位是通过发送 ICMP 报文，同时结合本地路由器端口是否支持端口回环功能来实现的。

本地局域网故障判定是通过测试本地路由器以太口是否可达实现的。若本地路由器以太口不可达，说明本地局域网出现故障；若可达，说明本地局域网无故障，故障点范围为本地接入端或是外网。

本地接入端和外网的故障判定须结合本地路由器端口特性采取 2 种解决方案。

(1)若本地路由器端口支持端口回环功能，则先自动执行该功能，之后读取路由器端口状态。

(2)若本地路由器端不支持端口回环功能，则进行链路的自动切换，切换成功后测试远端骨干网路由器端口是否可达：若可达，说明网络故障点范围为本地接入端；若不可达，说

明网络故障点范围为外网。

2.4.3　故障自动处理

判定故障点范围后，需要对发生的故障进行处理。根据故障点范围的不同，采取不同的处理过程：(1)本地局域网故障处理：故障报警，日志记入。(2)本地接入端故障处理：链路切换，故障报警，日志记入。(3)外网故障处理：故障报警，日志记入。

3　自愈保护系统的实现

整个系统的实现可分为软件部分和硬件(智能切换装置)部分，软件部分还可进一步划分为参数配置及日志读取软件和监控软件 2 部分。参数配置及日志读取软件的功能是将监控过程中要用到的一些参数预先进行配置，在监控软件执行故障处理后也可以通过参数配置及日志读取软件读取信息。

3.1　软件的实现

软件的实现对应于系统监控方案的 3 部分，分别是故障监测模块的实现、故障定位模块的实现和故障自动处理模块的实现。从功能角度，本系统还可以分为系统管理子系统、故障处理子系统、外网数据包探测子系统、硬件装置管理子系统、路由器管理子系统、ICMP 子系统和日志子系统 7 个子系统模块。下面主要从实现角度阐述系统的实现。

3.1.1　故障监测模块的实现

在故障监测模块中，可根据判定内外网输入线路和输出线路探测方式的不同分为外网数据包探测线程和硬件装置管理线程。

(1)外网数据包探测线程

此方式由软件实现，用于完成 E1 输入线路的故障监测。探测方式为一直探测，内部判定故障发生的逻辑为 2 个外网数据包到达时间间隔超过规定的时间间隔。程序实现先设置网卡的混杂模式，然后进行外网的数据包探测，当 2 个外网的数据包到达的时间间隔大于规定的时间间隔时，就向系统管理子系统发送故障消息，否则继续探测。

(2)硬件装置管理线程

硬件装置和软件配合完成 E1 输出线路的故障监测。硬件装置工作参数配置成功后，应答来自监控软件询问 E1 链路状态的指令。硬件装置管理线程根据应答情况判定网络是否发生故障，若认为网络发生故障，则向系统管理子系统发送故障消息。

3.1.2　监控软件故障定位工作流程

(1)系统管理子系统向故障处理子系统发送故障自动处理消息。

(2)故障处理子系统返回执行结果给系统管理子系统。

(3)系统管理子系统向故障处理子系统发送测试远端骨干网路由器端口是否可达的消息，故障处理子系统向 ICMP 子系统发送该消息，测试远端骨干网路由器端口是否可达。

(4)ICMP 子系统将测试结果给故障处理子系统，故障处理子系统将测试结果返回给系统管理子系统。系统管理子系统根据测试结果判定网络故障点位置。

(5)系统管理子系统把故障情况写入日志文件。

3.1.3　故障自动处理模块的工作流程

首先判定备份链路的状态是否可用，若不可用，则进行日志的记录和故障报警；若可用，先关闭主链路路由器端口，之后进行主备链路切换，最后开启备份链路路由器端口。关闭路由器端口主要采用自动发送路由器端口配置命令，配置路由器命令集中关闭路由器端口的命令需要依次进入普通用户模式、特权模式及配置模式，最后发送 shutdown 命令完成关闭端口的操作。开启路由器端口的过程与其类似，最后发送 no shutdown 命令完成开启端口的操作。这一过程要在配置过程中完成指令集的录入，路由器不同，指令集也各不相同。本文的自愈系统适用于多种不同型号的路由器，方法是在监控软件执行之前输入本地路由器指令提示符，在程序中自动判断指令的输入和指令的内容。

3.2　硬件的实现

网络自愈系统的硬件部分由实时微控制处理器 MCU、物理层信号检测模块、冗余备份链路控制模块、UART 串行口接口、电源模块组成。

物理层信号检测与冗余备份链路控制系统是嵌入式 E1 智能自愈装置的实时检测控制系统。它的主要功能是：实时检测 E1 链路物理层的信号脉冲，根据嵌入式智能系统的指令完成工作链路的切换，与智能控制系统通信，实时传递物理层工作状态，对传输的 E1 基带信号进行匹配、放大、信号再生，保证链路的传输性能。信号脉冲检测功能由物理层信号检测模块完成，工作链路切换与 E1 基带信号的匹配放大由冗余备份链路控制模块完成，与智能控制系统的通信由实时微控制器 MCU 的 UART 接口完成。

系统的电源设计采用外部稳压电源供电，经过该系统的电源模块稳压输出±5 V 电压为系统的各个器件供电。正电压稳压模块选用 LM7805，其输出电压为+5 V，提供 1.5 A 的输出电流满足系统的功率要求。

硬件部分的主要作用是完成切换，当网络的本地接入端出现故障时，软件可向硬件发送控制指令，让硬件完成链路切换。

4　结束语

本系统在设计和实现上的创新点如下：(1)建立了计算机网络远程链路接口故障自动判定机制。(2)自主研制了基于 E1 接口信道的物理层故障探测电路，它可以有效地配合故障判断机制，实现故障自愈处理。(3)实现了故障自愈切换与路由器响应时间以及故障自愈切换和多厂商路由器的可靠兼容。经过一段时间的测试，本系统运行良好，可以完成对传输链路上接入端到用户终端的故障监测、定位和报警，还可以将接入端的故障自动切换到备份链路上，使终端感受不到网络出现故障。本系统已在实际网络中测试成功，它在基于 E1 线路的计算机网络中具有一定的推广和应用价值。

参考文献

[1] 韦乐平. 下一代网络生存性的总体考虑[J]. 世界电信, 2000, 7(2): 7-9.

[2] Cuomo F, Akyildiz I F. Distributed Self-healing and Variable Topology Optimization Algorithms for QoS Provisioning in Scatternets[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(7): 1220-1236.

[3] 田洪亮. 宽带网络生存性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.

[4] Sacchi G, Sugliani S, Bogoni A. Design Experimental Characterization of EDFA-based WDM Ring Networks with Free ASE Light Recirculation and Link Control for Network Survivability[J]. IEEE Journal on Lightwave Technology, 2005, 23(3): 1170-1181.

[5] Snow A, Agarwal S. Towards an Optimal Network Survivability Threshold[J]. IEEE Journal on Threshold Management, 2005, 5(3): 761-774.